


SISTEM PENGENDALI *MANEUVER* PADA KAPAL PERANG DENGAN METODE SLIDING MODE CONTROL

Oleh :

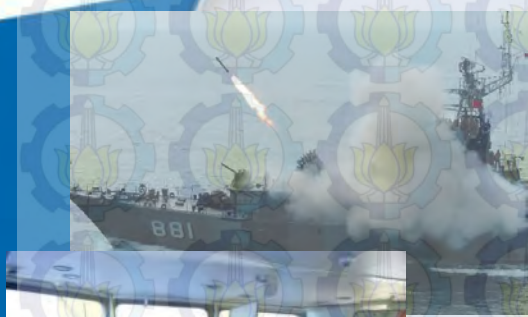
Oktia Dwi Irna Aini

Pembimbing :

DR. Dra. Mardlijah, M.T

- 
- ❖ Latar Belakang
 - ❖ Permasalahan
 - ❖ Tujuan
 - ❖ Batasan Masalah
 - ❖ Metodologi Penelitian
 - ❖ Pemodelan Dinamika Kapal
 - ❖ Sliding Mode Control
 - ❖ Pemodelan Gangguan Gelombang
 - ❖ Simulasi
 - ❖ Kesimpulan dan Saran
 - ❖ Tinjauan Pustaka

LATAR BELAKANG



PERMASALAHAN

bagaimana penerapan SMC pada kendali *maneuver* kapal perang

bagaimana hasil simulasi dari penerapan model SMC pada kendali *maneuver* kapal perang

TUJUAN

menerapkan SMC pada kendali *maneuver* kapal perang

mengetahui hasil simulasi dari penerapan model SMC
pada kendali *maneuver* kapal perang

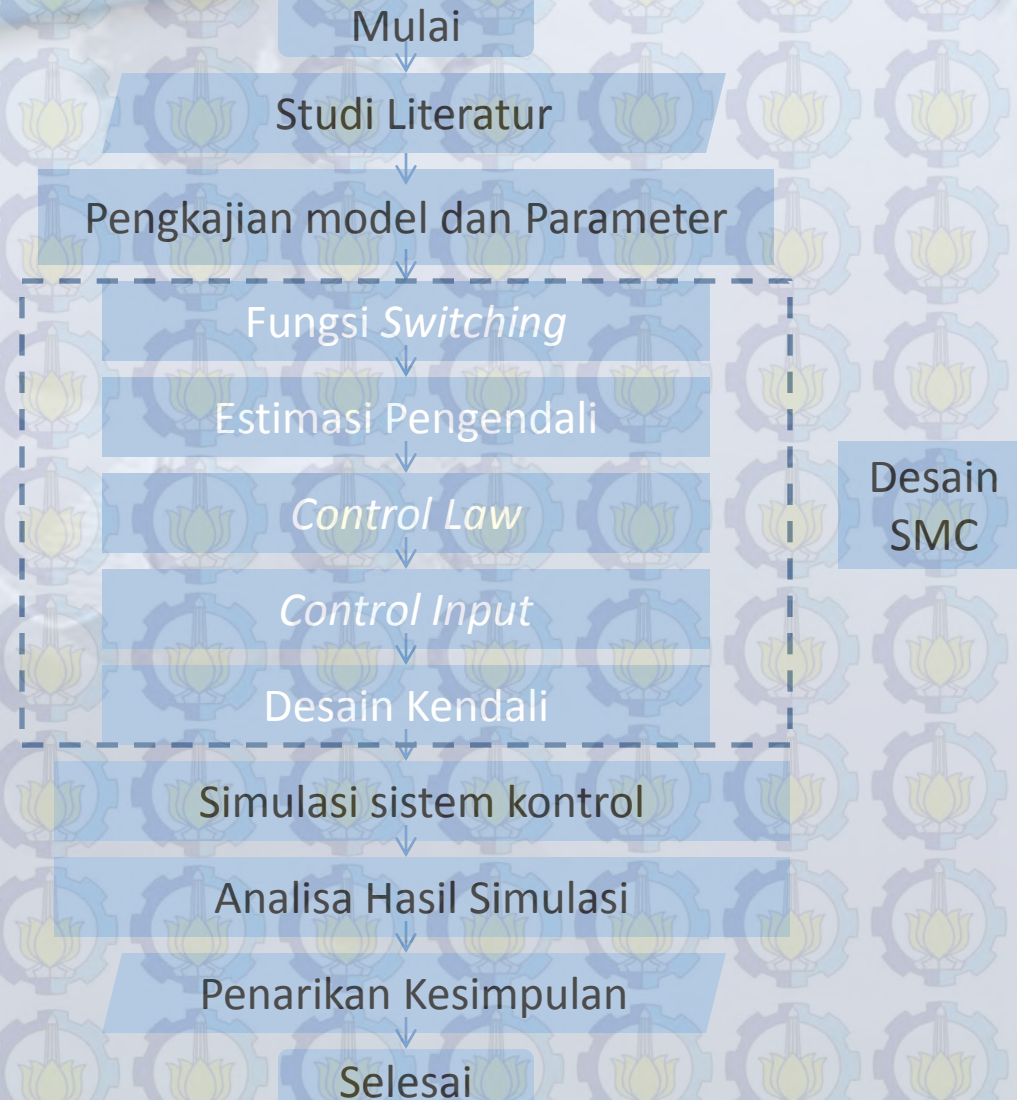
BATASAN MASALAH

- ❖ Variabel DOF(derajat kebebasan kapal) yang dikendalikan adalah momen *yaw*, sedangkan variabel DOF yang lain diabaikan
- ❖ Model yang digunakan pada *maneuvering control* merupakan model Nomoto orde dua
- ❖ Gangguan pada kapal berupa gelombang laut dengan *sea state* 5 dan *state* 6 yang diinterpretasikan dalam fungsi transfer
- ❖ Sudut datang gelombang yang digunakan untuk simulasi dengan gangguan adalah 180, 120 dan 60
- ❖ Spesifikasi kapal yang digunakan adalah KRI Diponegoro
- ❖ Simulasi menggunakan *software* MatLab

TINJAUAN PUSTAKA

- [1]Dontiawan, Aisyah dan Masroeri. (2013). “Perancangan Sistem Kendali Stabilitas Rolling Pada Kapal Perang Kawal Rudal Kelas Sigma-KRI Diponegoro dengan Menggunakan Logika *Fuzzy*”. Tugas Akhir-Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [2]Fossen, Thor. I. (1994). “Guidance and Control of Ocean Vehicle”. John Willey & Son. USA: John Willey & Sons, Inc
- [3]Muzzaki, M. (2015). “Desain Pengendalian Pintu Air dengan *Sliding Mode Control* (SMC)”. Tugas Akhir-Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [4]Oktafianto, K. dkk. (2015). “Design of Autonomous Underwater Vehicle Motion Using Sliding Mode Control Method”. ICAMIMIA 2015. Surabaya, Indonesia.
- [5]Tzeng, C. And Chen, J. (1999). “Fundamental Properties of Linear Ship Steering Dynamic Models”. Journal of Marine Science and Technology, Vol. 7 No.2 pp 79-88.
- [6]Ogata, K. (1992). “Modern Control Engineering”. Second Ed. Prentice Hall, London
- [7]Majid, T. (2015). “Analisis Performansi *Auto Maneuver* pada Beberapa Tipe Kapal di Perairan Lepas”. Tugas Akhir-Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [8]Syaifudin, W.H. (2013). “Penerapan Model Predictive Control (MPC) pada Kendali Haluan Kapal”. Tugas Akhir-Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [9]Widagdo, Agandi, H. (2011). “Kontrol Posisi Motor DC dengan Sliding Mode Control”. Tugas Akhir-Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- [10] Subiono. (2013). “Sistem Linear”. Jurusan Matematika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya, Indonesia.
- [11] Lia, S.T. (2013). “Kendali Kemudi Kapal dengan Nonlinear Backstepping”. Tugas Akhir-Institut Teknologi Sepuluh Nopember

METODOLOGI PENELITIAN





PEMODELAN DINAMIKA KAPAL

Model dinamika dari haluan kapal didapatkan dari pendekatan fungsi transfer dari Nomoto orde dua [2]:

$$\frac{r}{\delta_R}(s) = \frac{K_R(1 + T_3 s)}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)}$$

$$T_1 T_2 = \frac{\det(M)}{\det(N)} \quad T_1 + T_2 = \frac{n_{11}m_{22} + n_{22}m_{11} - n_{12}m_{21} - n_{21}m_{12}}{\det(N)} \quad K_R = \frac{n_{21}b_1 - n_{11}b_2}{\det(N)} \quad K_R T_3 = \frac{m_{21}b_1 - m_{11}b_2}{\det(N)}$$

$$M = \begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}} & mx_G - Y_{\dot{r}} \\ mx_G - N_{\dot{v}} & I_z - N_{\dot{r}} \end{bmatrix} \quad N(u_0) = \begin{bmatrix} -Y_v & mu_0 - Y_r \\ N_v & mx_G u_0 - N_r \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} Y_{\delta} \\ N_{\delta} \end{bmatrix}$$

$$K = \frac{n_{21}b_2 - n_{11}b_1}{\det(N)}$$

$$\det(M) = (m - Y_{\dot{v}})(I_z - N_{\dot{r}}) - (mx_G - N_{\dot{v}})(mx_G - Y_{\dot{r}})$$

$$\det(N) = Y_v(N_r - mx_G u) - N_v(Y_r - mu)$$

$$b_1 = \frac{(I_z - N_{\dot{r}})Y_{\delta} - (mx_G - Y_{\dot{r}})N_{\delta}}{\det N}$$

$$b_2 = \frac{(m - Y_{\dot{v}})N_{\delta} - (mx_G - N_{\dot{v}})Y_{\delta}}{\det M}$$



PEMODELAN DINAMIKA KAPAL

$$\frac{-Y'_v}{\pi(T/L)^2} = 1 + 0.16 \frac{C_B B}{T} - 5.1 \left(\frac{B}{L} \right)^2$$

$$\frac{-Y'_r}{\pi(T/L)^2} = 0.67 \left(\frac{B}{L} \right) - 0.0033 \left(\frac{B}{T} \right)^2$$

$$\frac{-N'_v}{\pi(T/L)^2} = 1.1 \left(\frac{B}{L} \right) - 0.041 \left(\frac{B}{T} \right)$$

$$\frac{-N'_r}{\pi(T/L)^2} = \frac{1}{12} + 0.017 \frac{C_B B}{T} - 0.33 \left(\frac{B}{L} \right)$$

$$\frac{-Y'_v}{\pi(T/L)^2} = 1 + 0.4 \frac{C_B B}{T}$$

$$\frac{-Y'_r}{\pi(T/L)^2} = -\frac{1}{2} + 2.2 \left(\frac{B}{L} \right) - 0.08 \left(\frac{B}{T} \right)$$

$$\frac{-N'_v}{\pi(T/L)^2} = \frac{1}{2} + 2.4 \left(\frac{B}{L} \right)$$

$$\frac{-N'_r}{\pi(T/L)^2} = \frac{1}{4} + 0.039 \frac{B}{T} - 0.56 \left(\frac{B}{L} \right)$$

$$Y_\delta = \rho \frac{\pi A_\delta}{4 L T}$$

$$N_\delta = -\frac{1}{2} Y_\delta$$

Smitt(1970), Norrbinn(1971) mengembangkan suatu rumusan secara empiris dari beberapa persamaan turunan koefisien hidrodinamika yang dikemukakan oleh Clarke(1982).

PEMODELAN DINAMIKA KAPAL

Simbol	Besar	Satuan	Keterangan
Lpp	90.71	meter	Panjang
B	13.02	meter	Lebar
T	3.75	meter	Kedalaman
Cb	0.41	-	Koefisien Blok
U	14.4	m/s	Kecepatan Servis
X _G	2.25	meter	Pusat Gravitasi
M	1818	ton	Massa
	8,75	meter	Tinggi kapal
A _δ	3.14	m ²	Luas Rudder

$Y'_\psi = -0,006025$	$N'_\psi = -0,00321$
$Y'_r = -0,000303$	$N'_r = -0,00163$
$N'_\delta = -0,000083$	$Y'_\delta = 7.34$
$N'_r = -0,000323$	$N'_\delta = -3.6738$
$Y'_v = -0,008422$	$I'_z = 0,000889$
$Y'_r = 0,00288$	$I'_r = 0,000889$

$$M' = \begin{bmatrix} 0.006029 & 0.000303 \\ 0.0000835 & 0.002212 \end{bmatrix}$$

$$N' = \begin{bmatrix} 0.008422 & -0.00288 \\ 0.00321 & 0.001637 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} 0.002637 & 0.01201 \\ 0.0000365 & 0.0481 \end{bmatrix}$$

$$N = \begin{bmatrix} 0.000584 & -0.01816 \\ 0.000223 & 0.01031 \end{bmatrix}$$

$$T_1 T_2 = 12.5385$$

$$T_1 + T_2 = 5.28665$$

$$K_R = 375.7262$$

$$K_R T_3 = 987.4$$

Sehingga pemodelan dinamika KRI Diponegoro:

$$\frac{r}{\delta_R}(s) = \frac{987,4s + 375,7262}{12,5385s^2 + 5,2865s + 1}$$

PEMODELAN DINAMIKA KAPAL

pemodelan dinamika kapal : $\frac{r}{\delta_R}(s) = \frac{987,4s + 375,7262}{12,5385s^2 + 5,2865s + 1}$

selanjutnya diubah dalam bentuk *state space*.

misalkan $\frac{r(s)}{\delta_R(s)} = \frac{y}{u} = \frac{y}{x} \frac{x}{u}$ dimana $\frac{y}{x} = N(S)$ $\frac{x}{u} = \frac{1}{D(S)}$

sehingga

$$\left(\frac{\frac{1}{12,5385}}{s^2 + \frac{5,2865}{12,5385}s + \frac{1}{12,5385}} \right) (987,4s + 375,7262) \text{ dimana } a_1 = \frac{5,2865}{12,5385} \quad a_2 = \frac{1}{12,5385}$$

$$\ddot{x} + a_1 \dot{x} + a_2 x = u \quad \dot{x} = Ax + Bu \quad A = \begin{bmatrix} -a_1 & -a_2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$[\dot{x}] = \begin{bmatrix} -0,4129 & -0,0797 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} [x] + \begin{bmatrix} 0,0797 \\ 0 \end{bmatrix} u \quad \text{dimana } [x] = \begin{bmatrix} r \\ \psi \end{bmatrix}; u = \delta$$

sehingga

$$\begin{bmatrix} \dot{r} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,4219 & -0,0797 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,0797 \\ 0 \end{bmatrix} \delta$$

SLIDING MODE CONTROL

$$\begin{bmatrix} \dot{r} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,4219 & -0,0797 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,0797 \\ 0 \end{bmatrix} \delta$$

$$\begin{aligned} \dot{r} &= -0,4219r - 0,0797\psi + 0,0797\delta \\ \psi &= r \end{aligned}$$

Tracking error: $e = \psi - \psi_d$
 $\dot{e} = \dot{\psi} - \dot{\psi}_d$

Fungsi Switching:

$$\begin{aligned} S &= \left(\frac{d}{dt} + \lambda \right)^{2-1} e \\ &= \left(\frac{d}{dt} + \lambda \right) e \\ &= \dot{e} + e\lambda \end{aligned}$$

$$\dot{S} = -0,4219r - 0,0797\psi + 0,0797\delta + \lambda r$$

Nilai estimasi:

$$\dot{S} = -0,4219r - 0,0797\psi + 0,0797\delta + \lambda r = 0$$

$$\delta = 0,518r + \psi - 1,255\lambda r$$

$$\hat{\delta} = 0,518r + \psi - 1,255\lambda r$$

Control Law:

$$\delta = \hat{\delta} - K \operatorname{sgn}(S) \quad \longrightarrow \quad \delta = 0,518r + \psi - 1,255\lambda r - K \operatorname{sgn}(S)$$

Control Input:

$$\begin{aligned} \dot{S} &= -0,4219r - 0,0797\psi + 0,4219r + 0,0797\psi - \lambda r \\ &\quad - K \operatorname{sgn}(S) + \lambda r \\ &= -K \operatorname{sgn}(S) \end{aligned}$$

Menentukan nilai K
 agar memenuhi
 kondisi sliding

$$S\dot{S} \leq -\eta|S| \quad \longrightarrow$$

$$\begin{aligned} S(-K \operatorname{sgn}(S)) &\leq -\eta|S| \\ \frac{S}{|S|} (-K \operatorname{sgn}(S)) &\leq -\eta \\ \operatorname{sgn}(S) (-K \operatorname{sgn}(S)) &\leq -\eta \\ -K &\leq -\eta \\ K &\geq \eta \end{aligned}$$

$$K = \min(\eta)$$

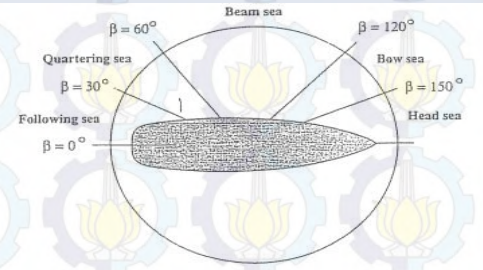
$$\delta = 0,518r + \psi - 1,255\lambda r - \min(\eta) \operatorname{sat}(S/\phi)$$



PEMODELAN GELOMBANG

Fungsi transfer orde 2 digunakan untuk model gelombang yaitu sebagai berikut[2]:

$$h(s) = \frac{K_w s}{s^2 + 2\zeta \omega_e s + \omega_e^2}$$



Kode laut	Deskripsi laut	Tinggi gelombang (m)	Persentase probabilitas		
			dunia	atlantik utara	atlantik selatan
0	Tanpa gangguan	0			
1	Calm (rippeld)	0-0.1	11.248	8.3103	6.0616
2	Smooth (waveless)	0.1-0.5			
3	Slight	0.5-1.25	31.685	28.1996	21.5683
4	Moderate	1.25-2.5	40.194	42.0273	40.9915
5	Rough	2.5-4	12.8	15.4435	21.2383
6	Very rough	4-6	3.025	4.2938	7.0101
7	High	6-9	0.926	1.4968	2.6931
8	Very high	9-14	0.119	0.2263	0.4346
9	phenomenal	diatas 14	0.0009	0.0016	0.0035

Sea State 6

Sudut datang	Permodelan gangguan
180°	$h(s) = \frac{0.3956 s}{s^2 + 0.2404 s + 1.44504}$
120°	$h(s) = \frac{0.3956 s}{s^2 + 0.0676 s + 0.1143}$
60°	$h(s) = \frac{0.3956 s}{s^2 + 0.1671 s + 0.8356}$

Sea State 5

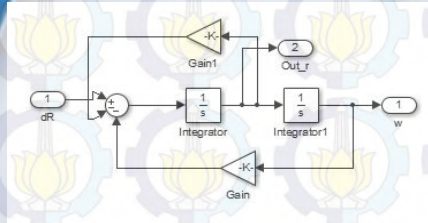
Sudut datang	Permodelan gangguan
180°	$h(s) = \frac{0.4569 s}{s^2 + 0.2982 s + 2.2229}$
120°	$h(s) = \frac{0.4569 s}{s^2 + 0.2214 s + 1.2253}$
60°	$h(s) = \frac{0.4569 s}{s^2 + 0.1671 s + 0.8356}$

$$K_w = 2\zeta \omega_0 \sigma_m \quad \omega_e = (U, \omega_0, \beta) = \omega_0 - \frac{\omega_0^2}{g} U \cos \beta$$

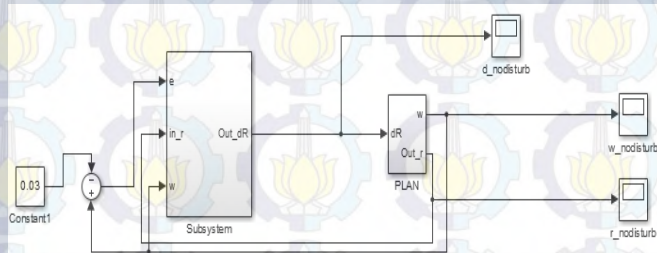
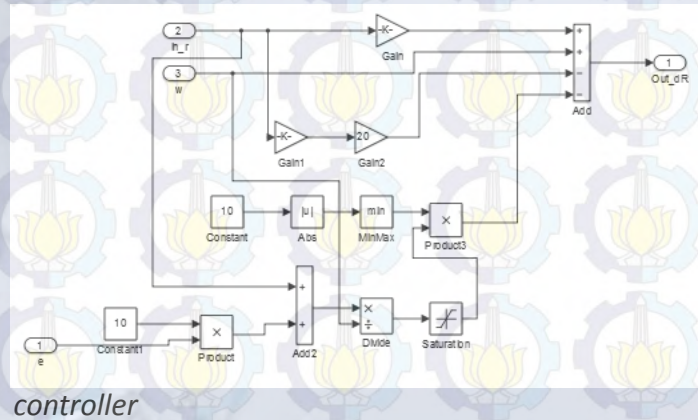
$$\omega_0 = 0.4 \sqrt{\frac{g}{H_z}}, \zeta = 0.1, \tau_\omega = 3.16, g = 9.8 \text{ m/s}^2$$



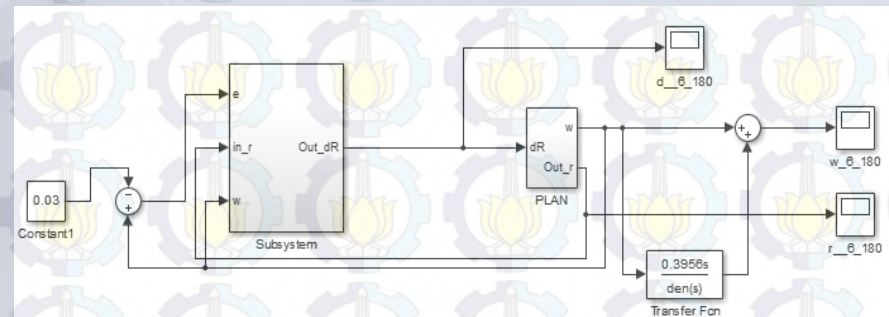
SIMULASI



Plan dinamika KRI Diponegoro



Dinamika kapal perang dg controller

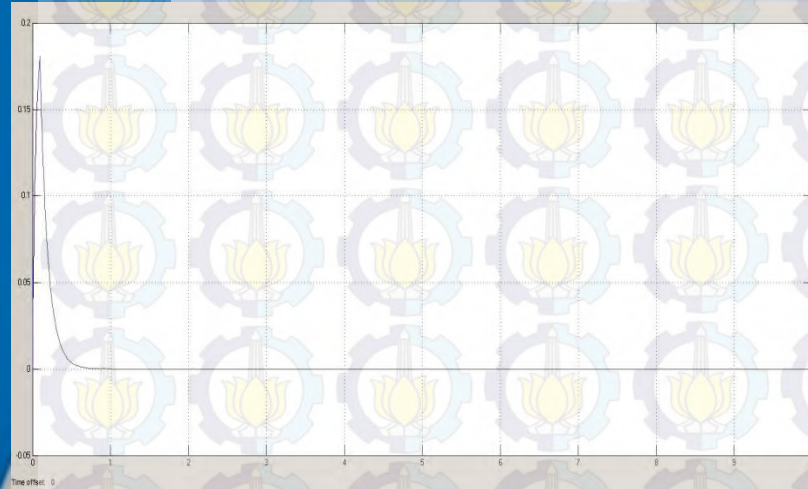


Studi kasus simulasi dg gangguan gelombang sea state 6 dg sudut datang gelombang 180 derajat

SIMULASI

Tanpa gangguan

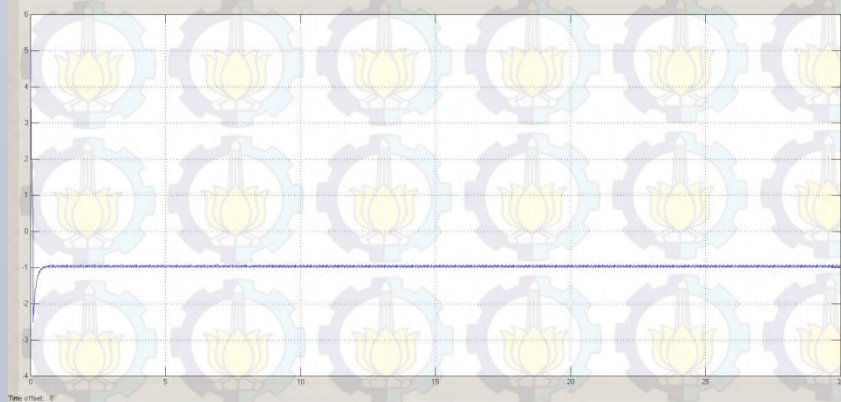
Kecepatan yaw



Sudut haluan



Sudut kemudi



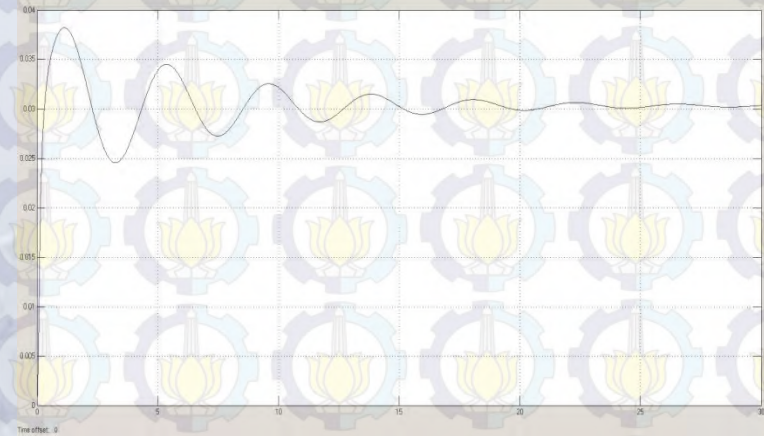
SIMULASI

Gangguan gelombang *sea state* 5 dg sudut datang 180 derajat

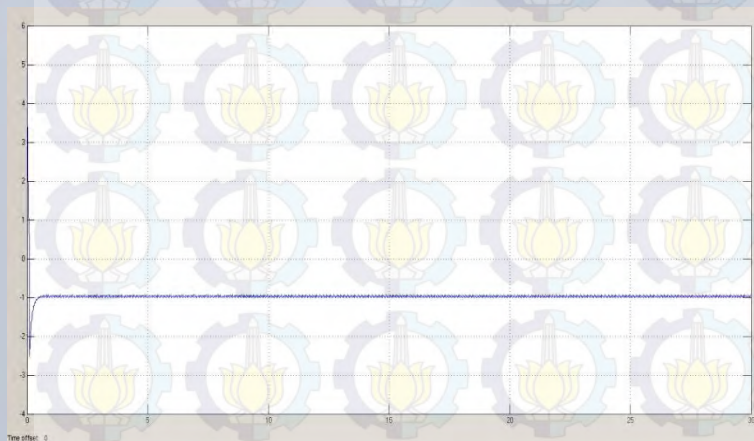
Kecepatan yaw



Sudut haluan



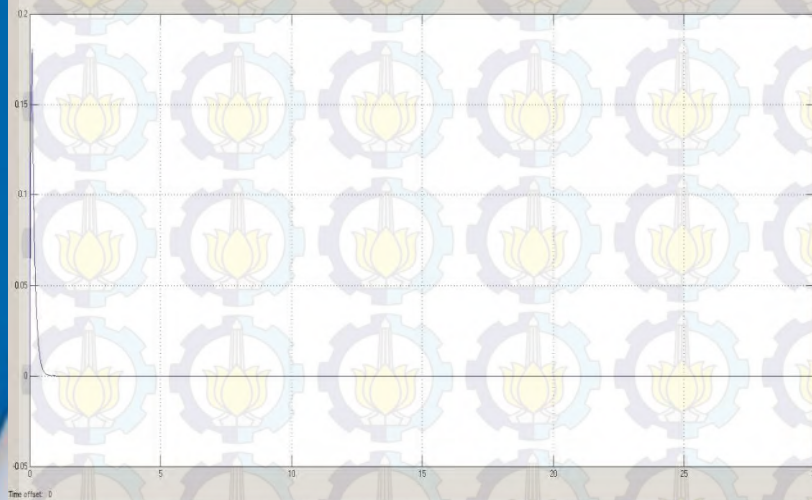
Sudut kemudi



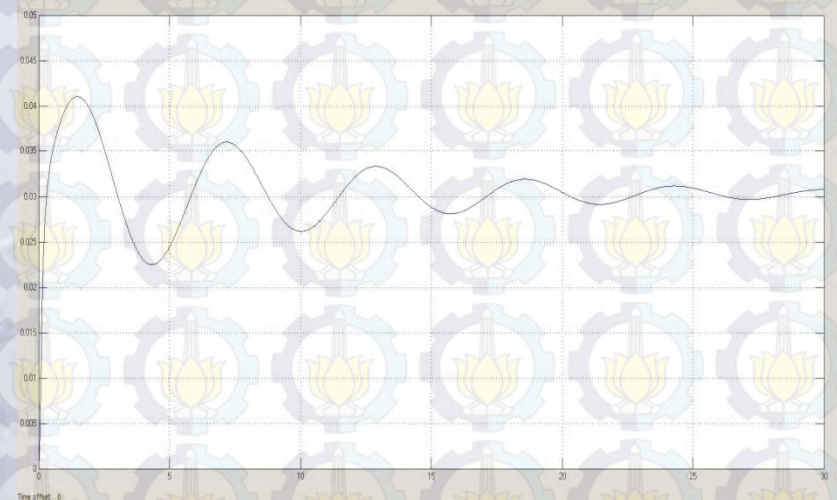
SIMULASI

Gangguan gelombang *sea state* 5 dg sudut datang 120 derajat

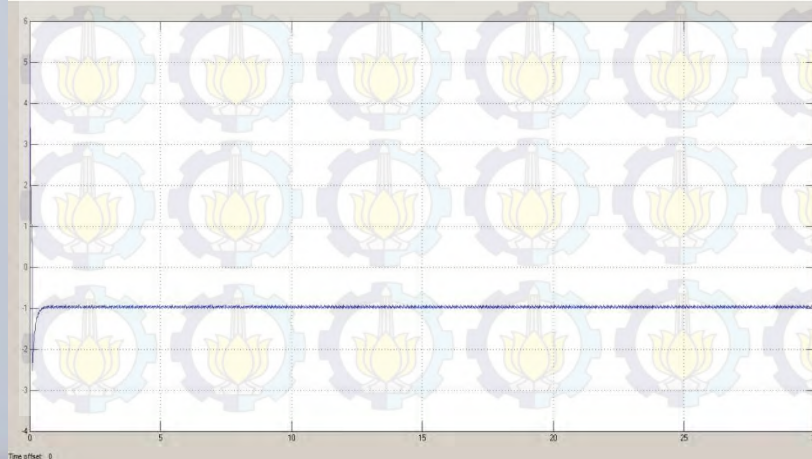
Kecepatan yaw



Sudut haluan



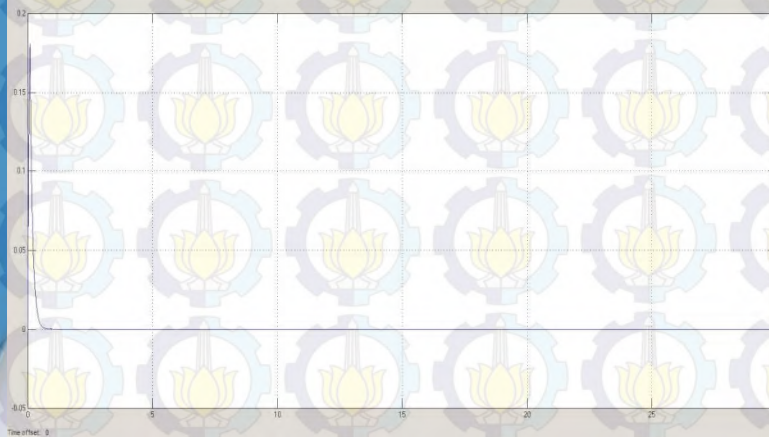
Sudut kemudi



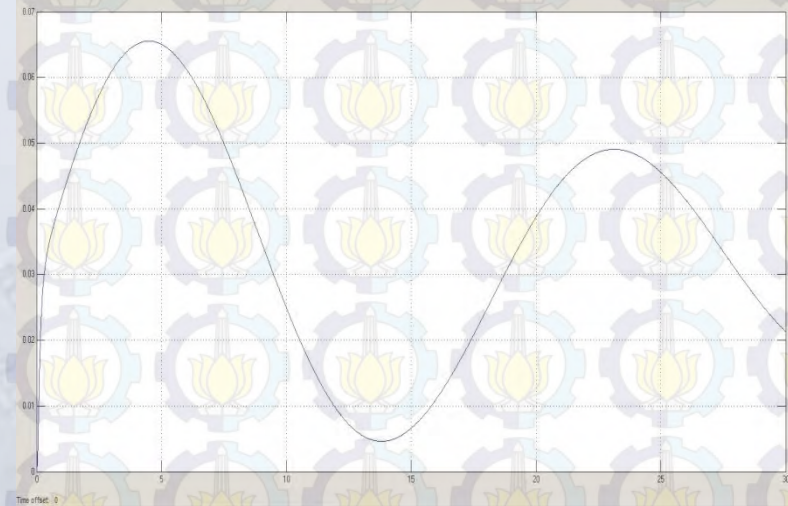
SIMULASI

Gangguan gelombang *sea state* 5 dg sudut datang 60 derajat

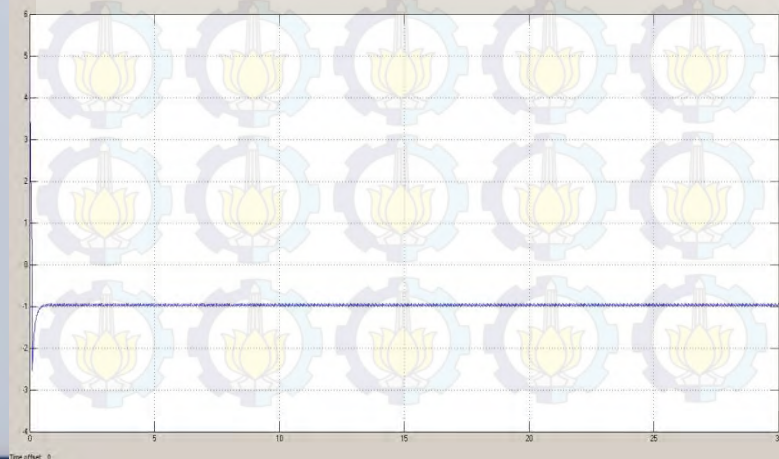
Kecepatan yaw



Sudut haluan



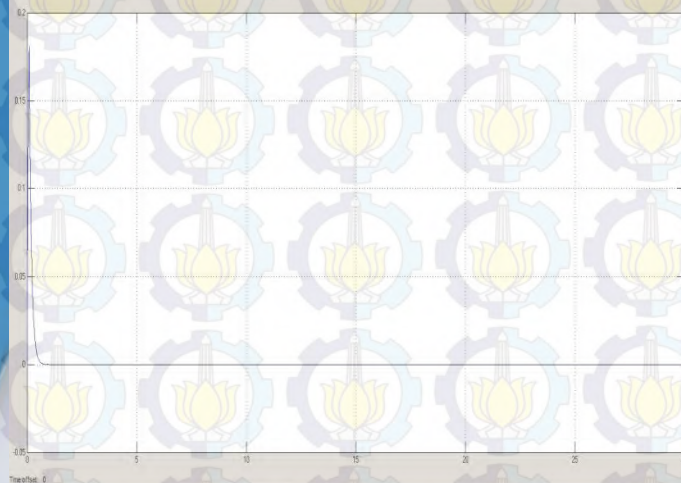
Sudut kemudi



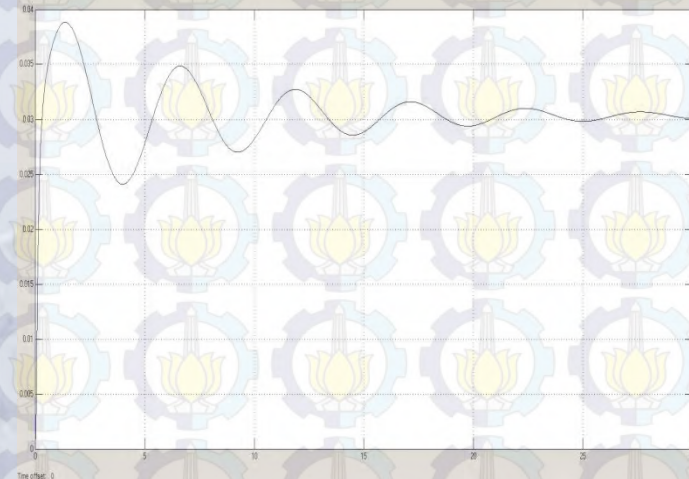
SIMULASI

Gangguan gelombang *sea state* 6 dg sudut datang 180 derajat

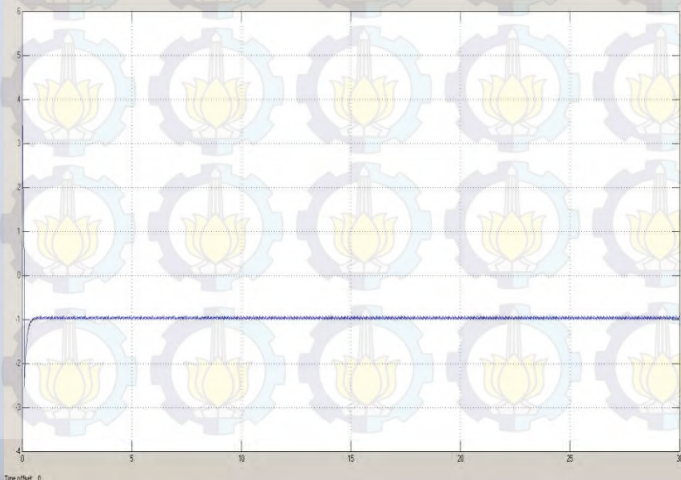
Kecepatan yaw



Sudut haluan



Sudut kemudi



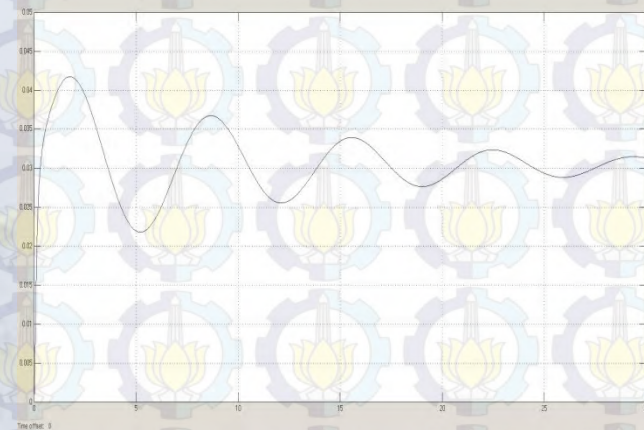
SIMULASI

Gangguan gelombang *sea state* 6 dg sudut datang 120 derajat

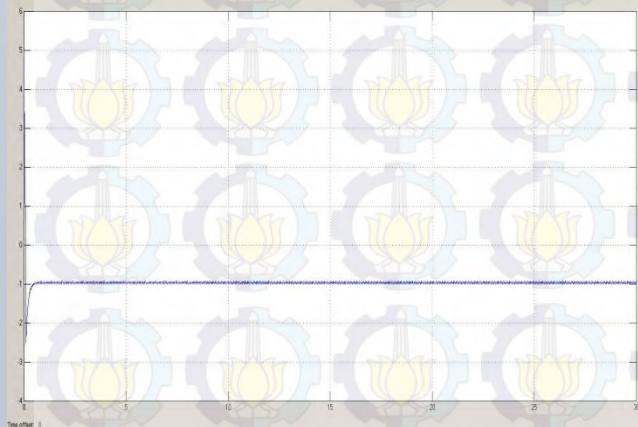
Kecepatan yaw



Sudut haluan



Sudut kemudi



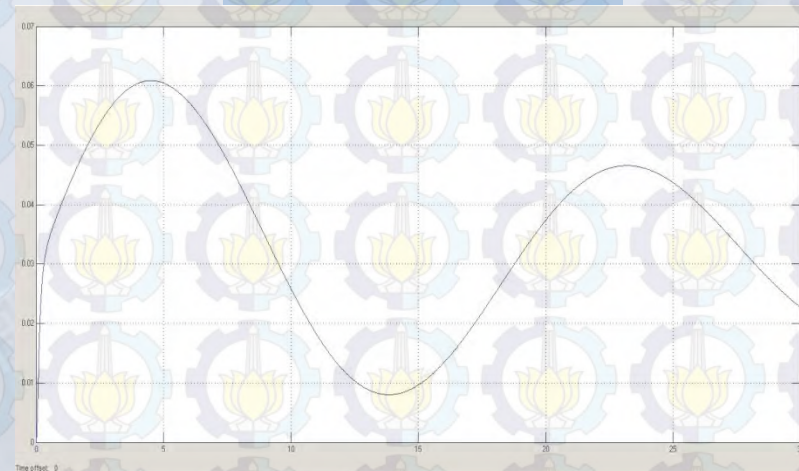
SIMULASI

Gangguan gelombang *sea state* 6 dg sudut datang 60 derajat

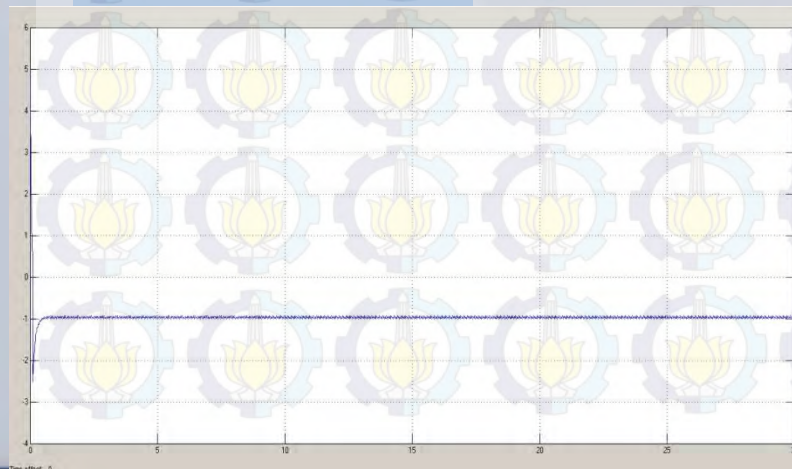
Kecepatan yaw



Sudut haluan



Sudut kemudi



	Tidak Ada Gangguan	Sea State 6			Sea State 5		
		180	120	60	180	120	60
Kecepatan yaw	0.755	0.8321	0.824	0.964	0.950	0.972	1.07
Sudut haluan (0.03rad)	0.525	30.25	38.8	101.7	37.1	67.04	162.8
Sudut kemudi	0.88	9.5	9.8	1.21	1.05	1.16	1.82

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- Hasil simulasi dengan SMC tanpa gangguan, kecepatan *yaw* lebih cepat dibanding dengan adanya gangguan, kapal juga lebih cepat menstabilkan sudut kemudi dan sudut haluan dibandingkan dengan adanya gangguan.
- Hasil simulasi dengan SMC dengan gangguan gelombang, menunjukkan bahwa semakin kecil sudut datang gelombang, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan kapal dalam menstabilkan sudut haluan kapal sampai dengan mendekati sudut yang diinginkan.

Saran

- Pada Tugas Akhir ini penulis hanya menggunakan gangguan eksternal berupa gelombang laut *sea state* 5-6 yang diinterpretasikan dalam bentuk fungsi transfer dan sudut datang 180, 120 dan 60. sehingga untuk penelitian selanjutnya bisa ditambahkan model gangguan jenis lain ataupun gangguan eksternal lainnya berupa arus dan angin.
- Untuk penelitian selanjutnya, *controller* yang digunakan bisa diganti dengan pengendali yang lain, misal *Fuzzy Logic Control*, *Sliding Fuzzy Logic Control* dan lain-lain.



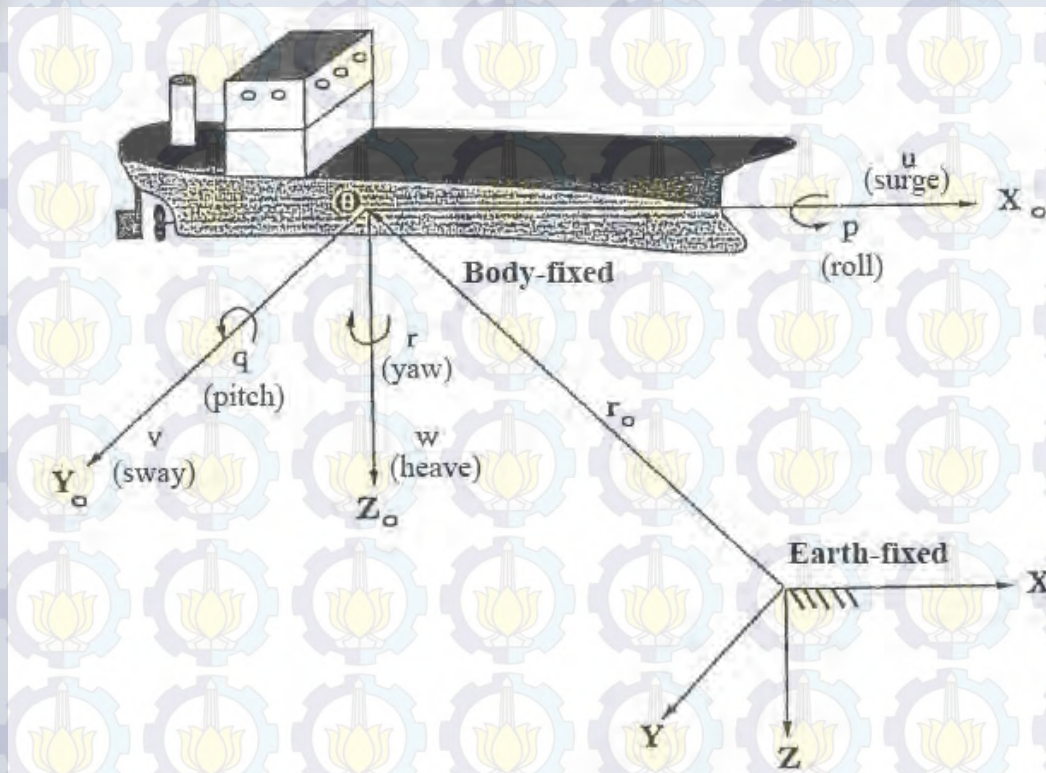
ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

Sekian...

Terimakasih...

حمد هل جزاهل خير

6 derajat kebebasan Kapal



Y_v'	Y_r'	N_v'	N_r'
-0,0060248	-0,0003026	$-8,3371 \times 10^{-5}$	-0,00032
Y_v'	Y_r'	N_v'	N_r'
-0,008422048	0,002887199	-0,00321563	-0,00164
Y_δ	N_δ	I_g	I_r
7,347690001	-3,673845	0,000889552	0,000889

Dibentuk menjadi matrik sebagai berikut:

M'	$m' - Y_v'$	$m'X_g' - Y_r'$
	$m'X_g' - N_v'$	$I_g' - N_r'$
M'	0,006029604	0,000302715
	$8,34901 \times 10^{-5}$	0,001212431

M	$m'_{11} \times L/U^2$	$m'_{12} \times L/U^2$
	$m'_{21} \times L/U^2$	$m'_{22} \times L/U^2$
M	0,002637661	0,012012098
	$3,65229 \times 10^{-5}$	0,048110766

N'	$-Y_v'$	$m'u_o' - Y_r'$
	$-N_v'$	$m'X_g'u_o' - N_r'$
N'	0,008422028	-0,00288
	0,003215631	0,001637

N	n'_{11}/U	$n'_{12} \times L/U$
	n'_{21}/U	$n'_{22} \times L/U$
N	0,000584864	-0,01816
	0,000223308	0,010312

b'	Y_δ
	N_δ
b'	7,347690001
	-3,673845

$$\text{Det } N = 0,000126461$$

$$\text{Det } M = 1,00858 \times 10^{-5}$$

$$T_1 T_2 = \frac{\det(M)}{\det(N)} \quad K_x = \frac{n_{11}b_1 - n_{12}b_2}{\det(N)}$$

$$T_1 + T_2 = \frac{n_{11}m_{22} + n_{22}m_{11} - n_{12}m_{21} - n_{21}m_{12}}{\det(N)}$$

$$K_x T_2 = \frac{m_{11}b_1 - m_{12}b_2}{\det(N)}$$

$$T_1 T_2 = 12,53854398$$

$$T_1 + T_2 = 5,286528971$$

$$K_x = 375,7261693$$

$$K_x T_2 = 987,4003449$$

$$\frac{r(s)}{\delta_R} = \frac{K_x(1 + T_2 s)}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)}$$

Maka, pemodelan dinamika kapal menjadi:

$$\frac{r(s)}{\delta_R(s)} = \frac{987,4s + 375,7262}{12,5385s^2 + 5,2865s + 1}$$



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

